

# 工程模块化施工技术

仇安兵<sup>1</sup> 黄毅华<sup>2</sup>

1. 北京科技大学; 2. 中冶京诚工程技术有限公司

**摘要:** 本文介绍了模块化的施工的成功案例, 详细阐述了模块化施工过程中的4种工况及其验算方法, 尤其是陆运及海运工况的计算方法, 可供类似工程参考。

**关键词:** 模块化; 陆运工况; 海运工况; 吊装工况  
【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.022

## 一、概述

模块化施工是指将设备框架或管廊等结构及其支撑的设备、管道和槽盒等组成部件在工厂里预制成一个整体的模块, 然后整体运输到项目现场进行安装, 从而减少现场的安装量, 缩短安装工期, 提高安装效率, 提高工程质量。模块化最大的优势是将现场所需人工时转移到现场之外劳动力价格相对低廉的地点, 从而降低项目施工成本。

模块化的施工方法, 主要是在工厂进行预制, 采用SPMT车运送到码头, 通过船运到安装场地的码头, 再由SPMT车运输到安装现场, 进行安装。

在项目的设计阶段要充分考虑到模块化施工的要求, 首先根据陆运路线和船运输能力的情况, 确定模块的尺寸, 根据模块的尺寸, 在设备布置时充分考虑模块要求进行设备布置, 确定好模块划分之后, 进行工程设计, 完成设计之后, 然后对每个模块的陆运、海运、吊装和

现场安装完成后的工况分别进行验算。工程模块化施工的流程示意图见图2。

## 二、陆运工况

1、在陆运工况下, 模块上作用的荷载主要有:

(1) 自重, 包含节点板, 管道, 设备, 槽盒等模块上所有构件。

(2) 模块偏心荷载, 采用SPMT车运输时会进行对心调整, 尽量减少偏心荷载, 在实际工程要做到完全没有一点偏心其实是很困难的, 在设计时仍需要考虑可能存在的偏心荷载, 建议按如下方法进行考虑, 模块的平面如图3所示, A取0.1LA或2m, 两者取小值, B取0.1LB或2m, 两者取小值。取模块的4个角点作为计算偏心控制点, 根据偏心的距离算出偏心荷载, 分配到4个角点, 近似考虑模块偏心的影响, 其结果可以包络住模块的偏心荷载效应。

(3) 模块运输路线的坡度和SPMT的刹车加速度。根据项目位置进行路线调研, 确认运输-路线的坡度s, 转换为沿模块前进方向的加速度s g, 如图4所示。刹车加速度由运输公司提供, 在缺少资料时可取0.05g进行设计, 考虑到上坡时刹车的情况, 在SPMT车的行进方向施加(s+0.05)g的加速度, 作为坡度和刹车荷载。

(4) 模块横向加速度(垂直于SPMT车行进方向), 考虑到车辆转弯和非直线上坡的情况, 可能存在



图1 SPMT车运输模块和船运模块

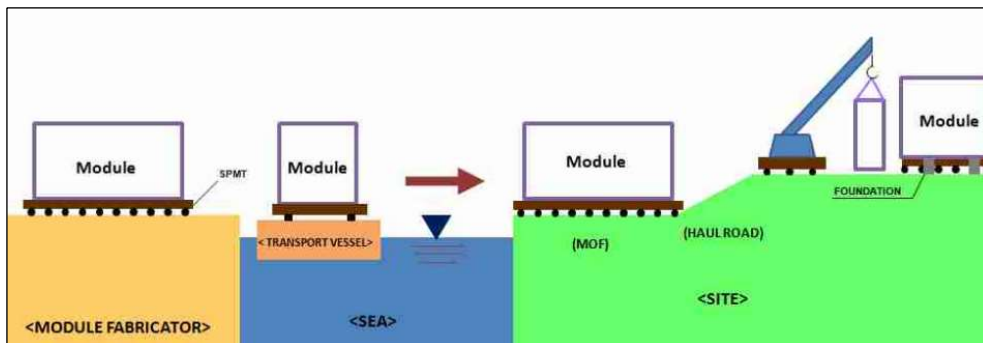


图2 模块化流程示意图

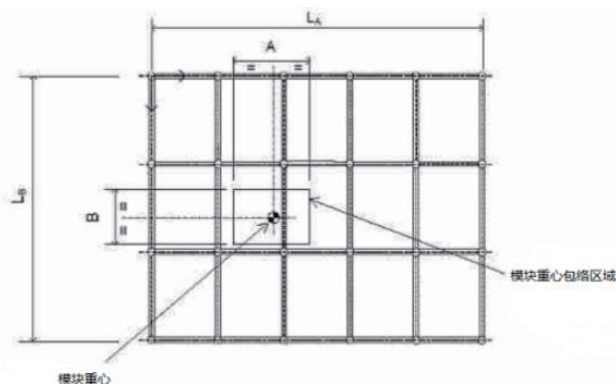


图3 模块偏心荷载示意图

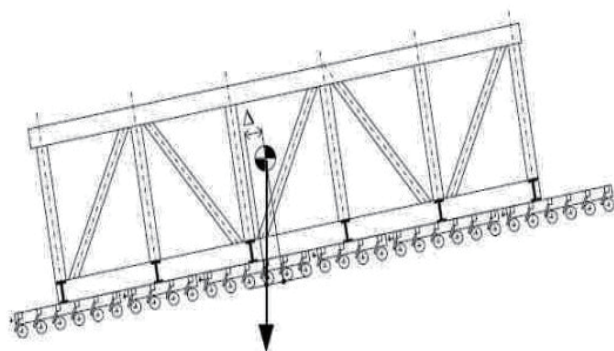


图4 模块上坡导致的偏心示意图

横向的偏心，可取0.02g。

(5) 模块的就位工况，考虑到模块到SPMT车就位时的工况，按模块自重的5%计算模块的冲击荷载，此工况为单独的验算工况。

2、验算的荷载组合：

(1) 偏心荷载工况：1+2+3+4

(2) 吊车就位工况：5

### 三、海运工况

1、在海运工况下，模块上作用的荷载主要有：

(1) 自重，包含节点板，管道，设备，槽盒等模块上所有构件的自重；

(2) 自重产生的横向水平加速度；

(3) 自重产生的纵向水平加速度；

(4) 船体横摇产生的水平加速度；

(5) 船体横摇产生的竖向加速度；

(6) 船体纵摇产生的水平加速度；

(7) 船体纵摇产生的竖向加速度；

(8) 船体垂荡产生的横向水平加速度；

(9) 船体垂荡产生的纵向水平加速度；

(10) 船体垂荡产生的竖向加速度；

(11) 船体甲板变形（支座位移），根据船运公司

提供的数据进行计算；

2、海运加速度的计算

模块的海运计算需要考虑船体的横摇，纵摇，垂荡产生水平和竖向的加速度。海洋的加速度值应取区域内10年内超载概率为10%的月极端值，如果没有统计数据的情况下，可按参考表1的海运参数进行设计。

表1 海运工况参数

Nature of Transportation	Case	LOA (m)	B <sup>[1]</sup> (m)	L/B <sup>[1]</sup>	Block Coeff	Full cycle period (secs)	Single amplitude		Heave
							Roll	Pitch	
Unrestricted	1	> 140	and > 30	n/a	< 0.9	10	20°	10°	0.2 g
	2	> 76	and > 23	n/a	any	10	20°	12.5°	0.2 g
	3	≤ 76	or ≤ 23	≥ 2.5	< 0.9	10	30°	15°	0.2 g
	≥ 0.9				25°				
	4	≤ 76	or ≤ 23	≥ 2.5	< 0.9	10	30°	30°	0.2 g
	5				≥ 0.9		25°	25°	
6	≥ 0.9	25°	25°	0.2 g					
Weather restricted operations in non-benign areas for a duration <24 hours (see Section 7.9.2 d. For L/B < 1.4 use unrestricted case.	7	any	any	≥ 2.5	any	10	10°	5°	0.1 g
	8	any	any	< 2.5, ≥ 1.4	any	10	10°	10°	0.1 g
Weather restricted operations in benign areas (see Section 7.9.2.e). For L/B < 1.4 use unrestricted case.	9	any	any	≥ 2.5	any	10	5°	2.5°	0.1 g
	10	any	any	< 2.5, ≥ 1.4	any	10	5°	5°	0.1 g
Inland and sheltered water transportations (see Section 7.9.2.f). For L/B < 1.4 use unrestricted case.	11	any	any	≥ 1.4	any	Static	Equivalent to 0.1 g in both directions		0.0
Independent leg jack-ups, ocean tow on own hull.	12	n/a	> 23	< 1.4	n/a	10	20°	20°	0.0
Independent leg jack-ups, 24-hour or location move.	13	n/a	> 23	< 1.4	n/a	10	10°	10°	0.0
Mat-type jack-ups, ocean tow on own hull.	14	n/a	> 23	< 1.4	n/a	13	16°	16°	0.0
Mat-type jack-ups, 24-hour or location move.	15	n/a	> 23	< 1.4	n/a	13	8°	8°	0.0

[1] B = maximum moulded waterline breadth, L = waterline length. n/a = not applicable

Block coefficient = 0.9 is the cut-off between barge-shaped hulls (>0.9) and ship-shaped hulls.

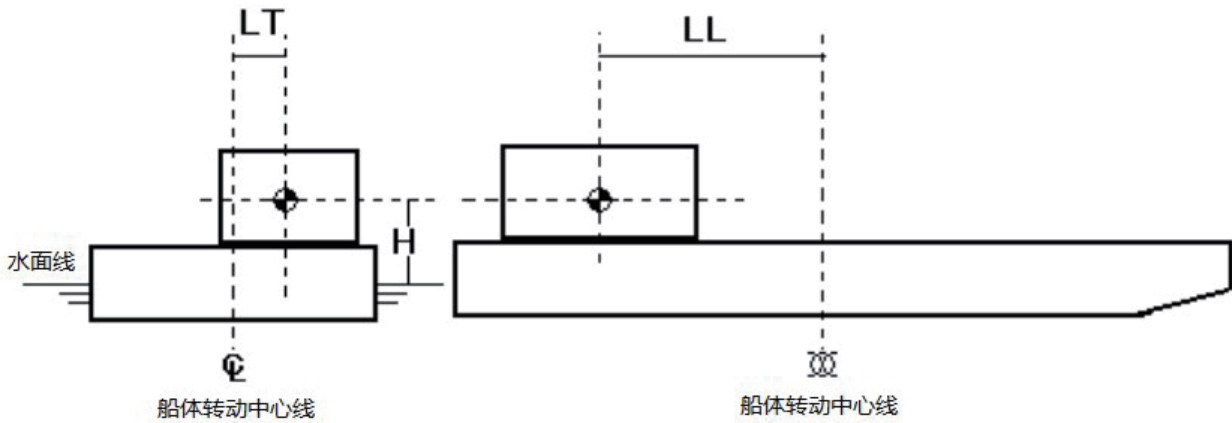


图5 货物摆放位置示意图

表1是文献<sup>[1]</sup>中提供了海运工况参数值，根据转角和周期可以计算出船体的角加速度，公式如下：

$$\omega_{\theta} = \frac{4\pi^2}{T_{\theta}^2} \theta$$

按图5所示，模块的水平加速度和竖向加速度为：

$$\alpha_L = \omega_{\theta} \cdot LL(LT)$$

$$\alpha_V = \omega_{\theta} \cdot H$$

### 3、验算的荷载组合

#### (1) 顶头浪和横浪

垂荡+横摇：(1) + (2) + (4) + (5) + (8) + (10) + (11)

垂荡+纵摇：(1) + (3) + (6) + (7) + (9) + (10) + (11)

#### (2) 斜浪

垂荡+ (80%) 横摇+ (60%) 纵摇：(1) + 0.8 (2) + 0.6 (3) + 0.8 (4) + 0.8 (5) + 0.6 (6) + 0.6 (7) + 0.8 (8) + 0.6 (9) + (10) + (11)

垂荡+ (60%) 横摇+ (80%) 纵摇：(1) + 0.6 (2) + 0.8 (3) + 0.6 (4) + 0.6 (5) + 0.8 (6) + 0.8 (7) + 0.6 (8) + 0.8 (9) + (10) + (11)

### 四、吊装工况

在吊装工况下，荷载仅是模块上作用的自重，包含节点板，管道，设备自重，槽盒等模块上所有部件。

当模块的运输状态与安装状态不一样时，需要验算不同的状态下的模块吊装工况，比如，由于运输需要，

模块运输时是横着，安装后是竖着的，吊装过程中有一个转体的过程，吊装工况需要验算三种状态，横置状态，竖置状态，转体状态（根据经验，可以70度考虑）。

吊装工况下，由于边界条件改为了吊点，有些构件成了悬挑构件，刚度较小，存在大位移的变形情况，因此分析时需要采用P-DETA分析，考虑大变形的影响，重点查看构件的挠度变形。

### 五、安装就位后工况

由于考虑运输过程，经模块化施工过程验算后，有一些杆件需要加强，替换为更大的截面，有些地方加了临时支撑，在不影响使用功能的前提下，会保留临时支撑，因此，现场实际安装后的结构与设计图纸可能存在差异，需要对修改加固后的设计模型进行验算。所有工况与原设计工况一致，如果验算不通过，需要对结构进行调整，包括拆除临时支撑等措施，保证安装后的结构可以通过规范的验算。

### 六、小结

项目的模块化执行是创新工作机制的重要方法之一，而且模块化施工也可以用于海岛的建设，本文结合成功的工程案例，介绍了模块化计算的4个工况，并给出了相应验算方法，可供类似工程参考。

### 参考文献

[1] RLJ JR RJP. TECHNICAL POLICY BOARD GUIDELINES FOR MARINE TRANSPORTATIONS [M]. Berlin, Germany: GL Noble Denton, 2010: 34-35.